

食品中铝含量测定方法的研究

张慧敏, 刘桂华*, 罗若荣, 姜杰, 丘红梅

(深圳市疾病预防控制中心, 深圳 518055)

摘要: **目的** 通过对食品中总铝含量测定方法的研究, 探讨如何应用现行标准检测方法为含铝食品添加剂的管理提供更好的技术支持。**方法** 应用电感耦合等离子体光谱技术和质谱技术, 对不同基质的生物成分标准物质中铝含量进行定量分析, 比较不同酸消解体系对总铝含量测定值的影响, 并对面制品、水产品等样品进行铝本底值的测定。**结果** 单硝酸体系并不能将样品完全消解, 需加入适量氢氟酸消解才能准确测定总铝含量。大量食品中铝存在本底值, 且部分贝类、海蜇等水产品中总铝的含量已经超过 100 mg/kg 的国家限量标准。**结论** 应用铝的国家标准检测方法测定总铝含量, 其结果偏低, 需采用硝酸-氢氟酸消解体系方可准确测定总铝含量, 如果相关规定中铝含量不以“总铝含量计”, 现行标准检测方法才可得更好地应用, 且不同基质食品有着不同铝的本底值, 不同的检测方法也有不同的方法检出限, 在管理含铝食品添加剂使用情况时, 需综合考虑所使用的检测方法及其样品基质的本底情况进行科学的判别。

关键词: 铝; 食品; 电感耦合等离子体质谱法; 电感耦合等离子体光谱法

Research of determination methods of food aluminum content

ZHANG Hui-Min, LIU Gui-Hua*, LUO Ruo-Rong, JIANG Jie, QIU Hong-Mei

(Shenzhen Center for Disease Control and Prevention, Shenzhen 518055, China)

ABSTRACT: Objective To evaluate the analytical methods for determination of total aluminum in foodstuff. **Methods** Inductively coupled plasma optical emission spectrometer (ICP-OES) and inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) were used to determine total aluminum in reference materials including different foodstuff samples. Digestion effects using different types of acid were compared. The background value of total aluminum was determined in flour and aquatic products. **Results** Only nitric acid can not digest sample completely. Using nitric acid and hydrofluoric acid together could completely digest foodstuff samples. Aluminum was frequently detected in food samples and the level in parts of shellfish and jellyfish had exceeded 100 mg/kg. **Conclusion** Aluminum concentration detected by the method of national standard was lower than the true value. Using nitric acid and hydrofluoric acid together in the digestion step can precisely determine the total aluminum in foodstuff samples.

KEY WORDS: aluminum; food; inductively coupled plasma optical emission spectrometer; inductively coupled plasma mass spectrometry

基金项目: 国家质量监督检验检疫总局公益性行业科研专项(2012104003)

Fund: Supported by the Special Public Welfare Industry Research of the State Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine (2012104003)

*通讯作者: 刘桂华, 主任医师, 主要研究方向为卫生理化检验。E-mail: 1106126629@qq.com

*Corresponding author: LIU Gui-Hua, Chief Physician, Shenzhen Center for Disease Control and Prevention, Shenzhen 518055, China. E-mail: 1106126629@qq.com

1 引言

铝元素是地壳中含量最丰富的金属元素,过去一直被认为对人体安全无害。随着科学技术的发展和进步,人们的环境意识和保健意识得到增强,铝的生物毒性效应逐渐为人所知。研究^[1]证实铝虽然是低毒元素,但长期过量铝的摄入可引起人体神经系统、免疫系统、骨骼系统和生殖系统的病变,过量铝的摄入还可能引起脑部疾病,促发老年痴呆症^[2]。食品中铝含量水平及其人体摄入量已引起广泛的关注^[3-6]。目前广为使用的含铝食品添加剂,主要含有硫酸铝钾、硫酸铝铵、酸性磷酸铝钠等,以及抗结剂-硅铝酸钠,常用于面制品、膨化食品、水产品、海产品等食品加工环节。

我国于1994年颁布了《面制食品中铝限量卫生标准》,规定面制食品中铝含量水平不得超过100 mg/kg^[7]。2005年颁布的《食品污染物限量标准》(GB2762-2005)中明确规定面制食品中铝限量为100 mg/kg^[8]。2011年颁布《食品添加剂使用标准》(GB2762-2011)^[9]中,将含铝食品添加剂纳入食品添加剂的管理范畴。2014年国家卫生和计划生育委员会等部门发布关于调整含铝食品添加剂使用规定的公告,规定膨化食品生产中不得使用含铝食品添加剂,小麦粉及其制品(除油炸面制品、面糊(如用于鱼和禽肉的拖面糊)、裹粉、煎炸粉外)生产中不得使用硫酸铝钾和硫酸铝铵。

铝是常量元素,不同食品中铝含量本底值的差异很大,而含铝食品添加剂的判断标准是“不得检出”或“总铝含量不大于100 mg/kg”^[9],区分本底值与“不得检出”成为执行该标准的一个关键问题。本研究采用最先进检测技术-电感耦合等离子体质谱(inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-MS)及电感耦合等离子体光谱(inductively coupled plasma optical emission spectrometer, ICP-OES),通过对多种生物成分分析标准物质中铝含量进行分析,评价现有的检测技术是否适合进行“总铝含量”的测定。同时采用国家标准方法对面制品、水产品等食品中铝的本底值进行测定分析,探讨如何应用现行标准检测方法为含铝食品添加剂的管理提供技术支持,标准中“总铝含量不大于100 mg/kg”的规定是否适合监督含铝食品添加剂使用情况,为国家食品安全标准制定和修订、执行提供严谨

的科学依据。

2 材料与amp;方法

2.1 仪器设备

ICP-MS(Agilent 7700x型,美国Agilent公司); ICP-OES(Thermo, ICAP-6300型,美国Thermo公司); 电热恒温烘箱(Binder,德国);微波消解仪(Beghof MW-3⁺,德国);超纯水机(Milli-Q,美国)。

2.2 试剂

硝酸(超高纯,日本多摩化学工业株式会社);硫酸(高纯,Merck);氢氟酸(高纯,Merck);高纯液氩(纯度大于99.999%);铝标准溶液(GSB 04-1713-2004,国家有色金属及电子材料分析测试中心);质谱调谐液(混合溶液浓度为1.0 μg/L,美国Agilent公司);内标溶液(国家有色金属及电子材料分析测试中心);超纯水(18.2 MΩ/cm);小麦粉、大米、菠菜、扇贝及大虾等生物成分标准物质,由国家地球物理和地球化学勘探研究所提供。

2.3 方法

2.3.1 ICP-MS 仪器条件

使用仪器调谐液调整仪器各项指标,使仪器灵敏度、氧化物、双电荷、分辨率等各项指标达到测定要求,仪器主要参数为,射频功率:1550 W;采样锥材料:镍锥;采样深度:10.0 mm;载气流速(氩气):0.80 L/min;辅助气流速(氩气):0.40 L/min;等离子气流速(氩气):15 L/min;分析泵速:0.10 r/s;雾化器:同心雾化器;雾化室:石英双通道, Piltier 半导体控温于(2.0±0.1)℃;炬管:石英一体化, Shield Torch 屏蔽炬;在线内标:锗(Ge)或钪(Sc)。

2.3.2 ICP-OES 仪器条件

测定前先进行光谱最佳化调谐,仪器参数:冲洗泵速:50 r/min,分析泵速:50 r/min,辅助气流量(氩气):0.5 L/min, RF 功率:1150 W,波长:396.1 nm。

2.3.3 样品制备

准确称取0.5~1.0 g左右经粉碎或匀浆处理的样品于聚四氟乙烯(polytetrafluoroethylene, PTFE)消解罐中,加入5 mL浓硝酸于160℃采用密闭焖罐消解法处理4 h后,定容至50 mL,上机测试。

2.4 样品来源

按照地点及经营性质分类,分别在餐厅、食堂、

超市及市场, 采集各类面制品、水产品、海产品等不同基质食品。

3 结果

3.1 方法的线性及检出限

分别采用微波消解及闷罐消解技术, 将 11 份试剂空白与样品同步处理, 定容至 50 mL, 以 0.5 g 样品定容至 50 mL, 计算检出限(3 倍标准偏差)及定量限(10 倍的标准偏差), 两种方法的最低检出限及定量下限见表 1。

关于的铝的检测方法, 目前我国已颁布的国家标准有 GB/T 5009.182-2003 《面制食品中铝的测定-铬天青 S 分光光度法》^[10]及 GB/T 22374-2009 《食品中铝的测定-电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)》^[11]。地方标准有 DB51/T 1046-2010 《电感耦合等离子体原子发射光谱法(ICP-OES)》, DB51/T 835-2008 《分光光度计法》, DB13/T 1105-2009 《石墨炉原子吸收法》等。其中铬天青 S 分光光度法存在前处理操作繁琐且不易掌握, 显色反应的不稳定性及色调不一致严重影响着方法的精密度和准确性^[12]。石墨炉原子吸收法存在线性比较窄, 最高浓度为 200 $\mu\text{g/L}$, 如果采用湿式消解法, 消解空白会超过 100 $\mu\text{g/L}$, 超标样品更是要稀释几十倍才能上机测试。ICP-MS 及 ICP-OES 不仅具有较高的精密度和准确性, 而且其线性范围很宽, 检出限很低, 样品消解后可以上机直接测定。

3.2 不同基质生物成分标准物质中铝的分析结果

按照国家标准方法(GB/T 22374-2009)进行样品前处理, 分别采用 ICP-MS 及 ICP-OES 测试铝的含量。表 2 中显示了 22 种不同基质标准物质铝的测定结果, 从中可看出无论采用微波消解还是闷罐消解,

单用硝酸消解体系, 两种方法铝的测定值均远低于标准值, 这可能与样品中部分铝都以难溶硅酸盐的形式存在有关。

微波消解及闷罐消解都是将样品在密闭高压条件下进行样品溶样处理, 其特点是样品分解完全、待测元素损失较少、试剂耗量少, 空白值低、样品测定回收率较高, 其中, 微波消解速度快, 但仪器设备及消化杯费用昂贵, 而闷罐消解实验时间较长, 但可以一次同时消解几十个样品, 设备及备件比较经济, 适用大批量样品的消化处理。

3.3 不同混合酸消解体系的比较

元素分析一般采用混合酸体系, 在高温下破坏、消解样品中的有机物, 从而释放出被测组分来进行分析的。食品样品消解方式一般采用硝酸或硝酸-双氧水体系, 双氧水与硝酸混合以提高硝酸的氧化能力, 为了减少试剂带来的污染, 通常只采用硝酸来处理样品。硝酸-高氯酸是湿法消解中常用的混合酸体系, 由于湿法消解存在耗时长、易污染、空白值高等缺点, 为了提高检测能力通常采用密闭消解方式来消解样品, 然而在密闭条件消化时, 高氯酸的分解会使罐内压力突然增大, 不仅会带来安全隐患, 且大量氯的引入对 ICP-MS 测定会产生质谱干扰, 因此, ICP-MS 分析样品前处理方法一般避免采用含高氯酸的混酸体系。

分别采用硝酸、硝酸+硫酸、硝酸+氢氟酸等不同酸体系, 闷罐消解法处理不同基质样品, 应用 ICP-MS 分析技术测定样品中铝的含量, 并将测定值与标准值比较, 从表 3 的结果数据中可看出, 在单硝酸消解体系中, 即使增加硝酸的使用量, 测定值还是偏低。采用硝酸+硫酸体系, 回收率稍有增加, 其中菠菜、蒜粉、茶叶的回收率已经达到 80%, 但其测定

表 1 ICP-MS 及 ICP-OES 测定铝的检出限
Table 1 Detection limit of icp-ms and icp-aes determination and engage aluminum

检测方法	标准曲线 ($\mu\text{g/L}$)			方法检出限(mg/kg)		方法定量限(mg/kg)	
	最低浓度	最高浓度	线性 相关系数	微波	闷罐	微波	闷罐
ICP-MS	质量数						
	27	2	10000	1.0000	0.34	0.34	1.0
ICP-OES	谱线						
	396.1	500	10000	1.0000	0.58	0.43	1.9

表2 22种不同基质标准物质铝的测定结果
Table 2 Determination results of 22 kinds of different standard material aluminum matrix

标准物质信息		ICP-OES 测定结果					ICP-MS 测定结果			
		标准值 (mg/kg)	闷罐消解		微波消解		闷罐消解		微波消解	
标准物质编号	基质		测定值 (mg/kg)	回收率 (%)	测定值 (mg/kg)	回收率 (%)	测定值 (mg/kg)	回收率 (%)	测定值 mg/kg	回收率 (%)
GBW10010	大米	390±40	129	33	120	31	122	31	115	29
GBW10011	小麦	104±10	39	38	19	18	34	32	22	21
GBW10012	玉米	320±30	147	46	105	33	125	39	73	23
GBW10013	黄豆	430	154	36	56	13	145	34	66	15
GBW10014	圆白菜	166±22	73	44	40	24	60	36	36	22
GBW10015	菠菜	610±60	478	78	291	48	382	63	275	45
GBW10016	茶叶	940±90	741	79	612	65	632	67	545	58
GBW10017	奶粉	30	12	41	8	27	10	6	10	6
GBW10018	鸡肉	160±30	55	34	29	18	45	65	30	43
GBW10019	苹果	70±10	23	32	16	23	16	23	15	21
GBW10021	豆角	430±40	262	61	179	42	243	56	264	61
GBW10022	蒜粉	210±20	120	57	72	34	90	43	55	26
GBW10023	紫菜	4900±800	3448	70	3347	68	2783	57	2875	59
GBW10024	扇贝	156±27	54	35	40	26	41	26	31	20
GBW10043	辽宁大米	450±70	180	40	113	25	158	35	114	25
GBW10047	河南小麦	210	50	24	27	13	44	21	37	18
GBW10047	胡萝卜	460	176	38	94	20	152	33	83	18
GBW10049	大葱	3000	1696	57	1605	54	1313	44	1218	41
GBW10050	大虾	290	190	66	153	53	156	54	121	41
GBW10051	猪肝	120±27	42	35	33	27	32	26	27	22

表3 不同酸体系铝的测定回收率(%)
Table 3 Determination recovery of different acid system

标准物质信息		HNO ₃ 加入量			5 mL HNO ₃ +H ₂ SO ₄ 加入量		5 mL HNO ₃ +HF 加入量		
		5 mL	10 mL	15 mL	0.5 mL	1 mL	0.25 mL	0.5 mL	1.0 mL
样品基质	标准值 mg/kg								
苹果	70±10	27	31	32	42	44	101	111	109
小麦	104±10	23	24	26	34	34	80	91	102
圆白菜	166±22	31	31	34	35	47	87	101	102
蒜粉	210±20	47	51	54	52	86	90	97	102
玉米	320±30	23	18	23	41	45	67	81	82
豆角	430±40	53	64	68	57	59	103	91	98
菠菜	610±60	67	77	77	96	78	94	96	106
茶叶	940±90	62	66	71	82	83	86	82	90
扇贝	156±27	24	25	26	48	36	60	68	68

值仍然不在标准值的不确定范围内。只有采用硝酸+氢氟酸,除扇贝外(需要再提高氢氟酸的使用量),所有不同基质样品中铝测定回收率达到80%~109%,测定值均在标准值的范围内,表明测定食品中的总铝含量,方法前处理过程中必须要加入(0.25~1.0 mL)氢氟酸,才能达到分析的要求,而此时消解溶液中氢氟酸的含量在2%以内,对仪器雾化器的伤害较小,只需进行约半小时的赶酸(110 °C)处理就可上机测试。对于扇贝等基质样品,由于在样品中大颗粒难溶态铝含量较高,可采取增加氢氟酸的使用量来提高回收率。

氢氟酸的腐蚀性很强,不仅在样品的前处理过程中不能使用玻璃器皿,而且消解后,需加试剂赶走氢氟酸才能上机测试,操作过程复杂费时,且在赶酸的过程中易造成其他元素的损失,否则需使用氢氟酸雾化器,这是仪器的特殊配置,无疑增加了测试成本,因此,在进行食品中元素分析过程中,一般都会避免使用氢氟酸试剂。

3.4 铝本底值的测定

采用 GB/T 22374-2009 《食品中铝的测定-电感耦合等离子体质谱法》方法,分别对面制品、贝类海产品等不同基质食品中铝的本底值进行测定,结果见表 4、5。

3.4.1 面制品铝的本底值测定

GB2762-2011 《食品添加剂使用标准》^[9]的新增公告中规定膨化食品、面制品(油炸除外)等食品中不得使用含铝食品添加剂,而从表 4 中可看出,采用高灵敏度的 ICP-MS 检测技术,在铝含量小于 100 mg/kg 的样品中,测定值高于方法检出限的样品占 29%~78%,其中 90%的测定值都小于 20 mg/kg,如果以干重及总铝含量计,铝检出的比例会更高;反之,如果采用低灵敏度的 GB/T 5009.182-2003 《面制品中铝的测定-铬天青 S 分光光度法》测定,由于该方法的检出限大于 20 mg/kg,表 4 中大部分铝含量小于 100 mg/kg 的样品都检不出,由此针对测定结果

表 4 面制品(成品)中铝本底值测定结果及分析
Table 4 Results of flour products (finished product) aluminum background value

样品类型	抽检总份数(份)	小于 100 mg/kg 的样品测定结果分析					高含量样品的份数及所占比例
		份数(份)	最小值 (mg/kg)	最大值 (mg/kg)	大于检出限(2 mg/kg)		
					份数(分)	所占比例(%)	
馒头 包子	380	190	<2	68	84	44	大于 20 mg/kg 24 份, 占 13 %
蛋糕	66	42	<2	42	12	29	大于 10 mg/kg 5 份, 占 12 %
糕点	43	15	<2	11	7	44	大于 10 mg/kg 1 份, 占 7 %
油条	50	23	<2	78	18	78	大于 20 mg/kg 3 份, 占 13 %
粉皮	38	38	<2	58	14	37	大于 10 mg/kg 2 份, 占 5 %
面包	207	207	<2	30	69	34	大于 20 mg/kg 9 份, 占 4 %
煎饼 烙饼	90	67	<2	13	29	43	大于 10 mg/kg 4 份, 占 6 %

表 5 水产品(湿样)中铝本底值测定结果及分析
Table 5 Results of aquatic products (wet sample) aluminum background value

样品类型	抽检总份数	测定结果范围 mg/kg		高含量样品所占的比例
		最小值	最大值	
贝类	207	2	500	大于 100 mg/kg 64 份, 占 31 %
海蜇	70	186	2541	大于 500 mg/kg 38 份, 占 54 %
				大于 1000 mg/kg 17 份, 占 24 %
水产品	280	<1	45	大于 10 mg/kg 7 份, 占 3 %

会得出两种不同的结论,因此,在管理面制品含铝食品添加剂的使用情况过程中,应根据检测结果使用的检测方法及样品基质,综合考虑,科学区别样品本身的本底值与添加剂的使用量,同时,建议相关规定针对不同基质食品,能给出合适的限值,从而更真实更科学地判断面制品中含铝食品添加剂的使用情况。

3.4.2 水产品中铝本底值的测定

在 GB2762-2011 《食品添加剂使用标准》^[9]中规定水产品等食品中铝的含量的限值为不能大于 100 mg/kg。在表 5 中显示,贝类海产品(湿重)铝含量超过 100 mg/kg 限值的样品占 30%,海蜇的最低测定值就已经超过限值,其他水产品 97%的铝测定值小于 10 mg/kg,如果以干重及总铝含量计,测定值会更高,说明此类产品铝的本底值就很高,这与其养殖环境(贝类)及加工过程(海蜇需用食盐、明矾腌制去毒)有关,这表明对于贝类及海蜇等海产品,规定的“总铝含量不得超过 100 mg/kg”的限量标准与该食品中铝的本底值有所矛盾,建议针对这类食品需针对铝的形态进行进一步研究,通过食品安全风险评估,给出合适的限值,从而合理有效管理该类食品加工过程中含铝食品添加剂的使用。

3.5 可溶性铝与总铝含量

一般来说,无机单核铝 Al^{3+} 、 $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ 、和 $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ 的毒性最大,铝的氟化物和有机态结合的铝毒性大大降低,难溶态铝不具有毒性^[13,14]。含铝食品添加剂中的铝是三价铝,属于水溶态铝,其毒性较大,属于国家严管监控对象。有研究者^[13,15]认为现行铝的国家标准检测方法中采用的浓硝酸微波消解提取方法测定的是总铝含量,而本研究通过大量实验数据证明该方法测定总铝含量结果偏低,说明仍有部分难容铝未溶解,总铝含量则需采用硝酸-氢氟酸微波或闷罐消解方式。如果只针对有毒的可溶性铝(比如酸溶铝)进行监管,与之配套的检测方法就可以避免使用氢氟酸,因此,现有相关规定采用总铝含量进行表述,不仅检测方法不能与之配套,而且仅以总铝含量来判断产品是否合格,并不科学,特别是针对贝类、海蜇等含铝较高的食品,建议需根据铝的不同形态建立限量标准,科学地进行食品安全评价。

4 结 论

按照现行国家标准测定食品中总铝的含量,采

用硝酸体系微波或闷罐方式进行消解,结果偏低,采用硝酸-氢氟酸消解体系才能准确测定总铝含量;不同基质食品有着不同铝的本底值,不同的检测方法也有不同的方法检出限,在管理含铝食品添加剂使用情况时,需综合考虑所使用的检测方法及样品基质本底情况,科学地进行判别和管理。

难溶态铝对人体并不具有毒性,现行铝的国家标准检测方法中采用的单硝酸消解体系,测定的并非是总铝含量,在 GB2762-2011 《食品添加剂使用标准》中采用“总铝含量”进行表述,并不科学,建议针对不同基质食品,需根据铝的不同形态建立不同的限量标准。

参考文献

- [1] 白雪松, 杜鹃, 宋春梅, 等. 铝与人体健康的研究进展[J]. 吉林医药学院学报, 2008, 29(6): 355-357.
Bai XS, Du J, Song CM, *et al.* Progress on effect of aluminum on human health[J]. J Jilin Med Coll, 2008, 29(6): 355-357
- [2] 盛明纯. 铝对人体健康影响的研究进展综述[J]. 安徽预防医学杂志, 2006, 12(1): 46-48.
Sheng MC, Review advances in the effect of aluminum on human health[J]. Anhui J Prev Med, 2006, 12(1): 46-48
- [3] 陈云生, 卢培培, 何爱桃. 衡阳市 6 类面制食品中铝含量分析[J]. 现代预防医学, 2009, 36(16): 3122-3123.
Chen YS, Lu PP, He AT *et al.* Analysis on aluminum content among six types of wheat flour food in Hengyang[J]. Mod Prev Med, 2009, 36(16): 3122-3123.
- [4] 蒋立新, 杨梅, 黄慧萍, 等. 深圳市主要食品中铝的污染状况[J]. 职业与健康, 2012, 28(11): 1352-1353.
Jiang LX, Yang M, Huang HP *et al.* Pollution status of aluminum in main foods in Shenzhen City[J]. Occup Health, 2012, 28(11): 1352-1353.
- [5] 吴丽明, 张慧敏, 黄薇, 等. 深圳市面制食品中铝含量监测结果[J]. 职业与健康, 2010, 26(19): 2202-2204.
Wu LM, Zhang HM, Huang W *et al.* Monitoring Results of Aluminum Contents in Flour Products in Shenzhen City[J]. Occup Health, 2010, 26(19): 2202-2204
- [6] 梁浩, 王舟, 潘柳波. 深圳市 2007-2008 年市售面制食品中铝污染状况[J]. 实用预防医学, 2010, 17(3): 502-503.
Liang H, Wang Z, Pan LB, Analysis on Aluminum Contamination in Flour-made Food Sold in Markets of Shenzhen in 2007 ~ 2008[J]. Pract Prev Med, 2010, 17(3): 502-503
- [7] 中华人民共和国国家标准. GB15202-94 面制食品中铝限量卫

- 生标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 1997
- National Standards of the People's Republic of China. GB15202-94, Hygienic standards for the use of aluminum additives in flour products[S]. Beijing: Standards Press of China, 1997
- [8] 中华人民共和国国家标准. GB2762-2005 食品中污染物限量标准[S]. 2005
- National Standards of the People's Republic of China. GB2762-2005, Limitation standards for food contaminants[S]. 2005
- [9] 中华人民共和国国家标准. GB2762-2011 食品添加剂使用标准[S]. 2011
- National Standards of the People's Republic of China. GB2762-2011, Standard for the use of food additives [S]. 2011
- [10] 中华人民共和国国家标准. GB2009.182-2003 面制食品中铝的测定[S]. 2003
- National Standards of the People's Republic of China. GB2009.182-2003 Determination of aluminum in flour products [S]. 2003
- [11] 中华人民共和国国家标准. GB/T 23374-2009 食品中铝的测定-电感耦合等离子体质谱法[S]. 2009
- National Standards of the People's Republic of China. GB/T 23374-2009 Determination of aluminium in foods-Inductively coupled plasma mass spectrometry[S]. 2009
- [12] 葛少林. 食品中铝的检测方法改进以及污染状况研究[J]. 河南预防医学杂志, 2011, 22(5): 346-347.
- Ge SL, Detection of aluminum in foods and pollution of improvement[J]. Henan J Prev Med, 2011, 22(5): 346-347.
- [13] 严华, 黄东仁, 陈火荣, 等. 坛紫菜中铝的形态分析及风险性评价[J]. 水产学报, 2011, 35(6): 918-923.
- Yang H, Huang DR, Chen HR, et al. Speciation analysis and health risk assessment of aluminum in *Porphyra haitanensis*[J]. J Fish China, 2011, 35(6): 918-923.
- [14] 杨小弟, 章福平, 王先龙, 等. 环境与生物体系中铝形态分析技术的新进展[J]. 分析化学, 2003, 31(9): 1131-1138
- Yang XD, Zhang FP, Wang XL, et al. Novel Analytical Techniques for Fractionation and Speciation of Aluminum in Environmental and Biological Systems[J]. Chin J Anal Chem, 2003, 31(9): 1131-1138
- [15] 尚德荣, 赵艳芳, 宁劲松, 等. 海藻中铝的化学形态分析[J]. 水产学报, 2011, 35(4): 539-542.
- Shang DR, Zhao YF, Ning JS, et al. Speciation analysis of aluminium in seaweed[J]. J Fish China, 2011, 35(4): 539-542

(责任编辑: 张宏梁)

作者简介



张慧敏, 主任技师, 主要研究方向为理化检验、食品安全、环境卫生、劳动卫生等。

E-mail: hmzhang2004@aliyun.com



刘桂华, 主任医师, 主要研究方向为卫生理化检验。

E-mail: 1106126629@qq.com